关于构建黄河流域水网的思考*

张金良[1,2]
1（黄河勘测规划设计研究院有限公司 郑州 450003）
2（水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室（筹） 郑州 450003）

摘要：加快构建黄河流域水网是实现黄河流域生态保护和高质量发展的有效手段。黄河流域是极度缺水地区，资源型缺水问题突出。水资源时空分布不均衡，与经济发展布局不匹配的矛盾长期存在，制约着黄河流域经济社会的高质量发展。南水北调西线工程是“四横三纵”国家水网的核心工程，是构建黄河流域水网的重要组成部分。在国家水网构建框架下，以南水北调西线工程为纲、以区域配置工程为目，以节点控制工程为结，构建黄河流域水网，推动“南方之水”依势向黄河流域梯度配置，对于实现流域水资源空间均衡配置，构建流域社会经济空间均衡发展新格局具有十分重要的战略意义。

关键词：国家水网 黄河流域水网 空间均衡 水资源配置
分类号：TV212

Thoughts on Building Water Network of the Yellow River Basin

ZHANG Jinliang[1,2]
1(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)
2 (Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources (under construction), Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Accelerating the building of water network of the Yellow River Basin is an effective means to realize ecological conservation and high-quality development of the Basin. The Yellow River Basin is extremely short of water, and the problem of resource-based water shortage is prominent. The long-standing uneven temporal and spatial distribution of water resources and its mismatch with the layout of economic development have been restricting the high-quality socio-economic development of the Basin. The South-to-North Water Diversion West Route Project is the core project of the national water network featuring "three vertical projects connecting four horizontal rivers" and an important part of the water network of the Yellow River Basin. The water network of the Yellow River Basin shall be built under the framework of national water network by taking the West Route Project as the first tier, the regional water allocation projects as the second tier and the node control projects as the third tier thus to promote gradient allocation of water in the South to the Yellow River Basin according to the natural conditions. Such efforts are of great strategic significance for realizing the spatial balanced allocation of water resources and building a new pattern of spatial balanced socio-economic development in the Basin.

Key words: National water network Water network of the Yellow River Basin Spatial balance

---

*基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFC1508706）、中国工程院咨询研究项目（2019-XZ-65）的研究成果之一。

作者简介：张金良(1963-)，男，教授级高级工程师，博士，博士生导师，主要从事水利水电工程设计研究。
E-mail：jlzhangyrec@126.com

Water resources allocation

引 言

黄河流域水土资源极不匹配，流域面积占全国国土面积的8.3%，水资源量仅占全国的2%，承载了占全国15%的耕地面积、全国12%的人口和14%的经济总量[1]。水、土资源配置失衡，严重制约黄河流域经济社会高质量发展。

跨流域调水工程已成为国内外解决区域水资源时空分布不均、发展经济社会及改善生态环境的重要手段[2-5]。目前全球调水工程年调水规模已达到 6000 亿m3，在促进水资源空间均衡配置方面发挥了积极作用，取得了良好的经济社会和生态效益[6, 7]。国际上，美国利用中央河谷调水、加利福尼亚州水道、全美灌溉系统等长距离调水工程，给缺水地区的经济发展注入了新的生机，使素有“荒漠”之称的南加利福尼亚州成为美国最大的农业州，其肉类罐头、蔬菜和水果产量占美国的三分之一[8, 9]。以色列国土 60%为沙漠、旱地，是真正意义上的“不毛之地”，通过北水南调工程把大片不毛之地的荒漠变为绿洲，把原本贫瘠的土地荒野变成了沃野良田，使之成为中东农业最发达的国家[10]。我国自古就有修建调水工程以解决水资源分配不均问题的方法[11]。春秋末期，吴国开凿的邗沟，自山阳至江都，贯通淮河与长江，于公元前 486 年开通；战国初期，魏国修筑鸿沟，沟通黄河与淮河，于公元前 360 年开通；西汉时期，修建漕渠，于公元前 129 年开通；而在春秋时代（公元前 456 年）挖掘，经南北朝，南朝至元朝（公元 1239 年）全线贯通的京杭大运河（全长 1873km）更是世界调水工程中的瑰宝[12]。新中国成立以后，为解决缺水城市和地区的水资源紧张的问题，我国各种规模的跨流域调水工程得到了快速的发展，修建了多座大型跨流域调水工程，如天津引滦入津、甘肃引大入秦、山西引黄入晋、辽宁引碧入连、青海引大入湟、山东引黄济青等，为供受水区提供了稳定可靠的水源，有力支撑了我国经济社会发展和生态环境保护。为有效解决北部地区干旱缺水问题，改善缺水地区的工农业生产及生活供水条件，于 2002 年和 2003 年开始兴建南水北调中线工程和东线工程，一期主体工程建成通水以来，截止 2021 年已累计调水 400 多亿 m^3，直接受益人口达 1.2 亿人，在构建我国国土空间发展新格局方面发挥着重要作用[13, 14]。

水是黄河流域社会经济发展的命脉，要实现黄河流域的生态保护和高质量发展，其关键在于水资源合理调配。破解水资源短缺、生态环境脆弱、高质量发展不足三大瓶颈制约，需要坚持全国一盘棋，从黄河流域高质量发展的大局出发，在国家水网的框架下，规划大型调水工程，将水调入黄河流域，一举解决水-土失衡问题，实现黄河流域的空间均衡发展。

1 国家水网构建的背景与内涵

2019 年 9 月 18 日，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上强调黄河流域最大的矛盾是水资源短缺。2021 年 5 月 14 日，习近平总书记主持召开了推进南水北调后续工程高质量发展座谈会，强调“要加快构建国家水网，加快构建国家水网主骨架和大动脉，为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障”。国家重大战略实施对国家水网体系建设提出了新的要求，当下国家水网建设既面临难得的机会，也面临严峻挑战。

国家水网是在节水优先的前提下，以资源环境承载能力为约束，以保障经济社会合理用水需求和生态环境健康稳定为目标，以水流功能的有序发挥为表征，

以自然河湖水系为基础、蓄引提调连通工程为框架，形成的在空间上具有显著网络形态、在功能上具有“四水统筹”（水资源、水环境、水生态、水灾害）作用的国家水资源配置网络体系[15, 16]。按照国家水网建设的目标要求，国家骨干网主要解决国家水资源宏观调配问题，围绕国家发展重大战略，构建国家及重要区域水网主骨架、大动脉。省、市、县水网依托国家骨干网及上一级水网的调控作用，形成城乡一体、互联互通的水网体系，提供高质量的水利公共服务。

2 黄河水网构建面临的问题

2.1 本地水资源不足以支撑流域生态保护和高质量发展

黄河流域资源性缺水问题严重，年均降水量低于 400mm 的干旱半干旱区占流域面积的 40%。流域多年平均水资源总量仅 647 亿 m3，人均水资源量 473m3，为全国平均的 23%，亩均水资源量 220m3，不足全国平均的 15%，有限的水资源还要承担输沙和向流域外供水的任务。黄河水资源开发利用率高达 80%，远超一般流域 40%的生态警戒线。与此同时，据 2001～2016 年统计，黄河入海水量年均 162 亿立方米，最少 42 亿立方米，河口镇断面实测径流量年均为 163 亿立方米，最小为 102 亿立方米，部分年份黄河干流生态流量及过程保障程度低。与上世纪 80 年代相比，黄河干流宁蒙、小北干流、下游等河段河流湿地面积减少了约 30%～40%，河口天然湿地面积萎缩约 50%，鱼类种类减少约 30%。石川河、漆水河、汾河、大黑河等支流断流情况严重，河流生态功能受损。

2.2 区域水资源配置工程和城乡供水工程不完善

局部地区资源型缺水和工程型缺水并存，还存在“守着黄河喝不上黄河水”的问题。中游地区发展主要依靠黄河水，但黄河北干流水低地高，引黄供水工程大多数扬程在 200-300 米，有的高达 400-500 米，单方水耗能高，导致供水成本高、开发利用难度大。此外，西宁海东城市群，榆林、延安、庆阳等革命老区以及黄河下游两岸等地区也存在因为水资源配置工程不足，喝不上黄河水的情况。受区域经济社会发展水平的差异影响，部分地区供水基础设施建设滞后，与保障区域高质量发展的供水安全要求不相适应。流域内约 60%的建制市没有应急备用水源，饮用水水源地单一，难以应对干旱、污染等突发事件。部分农村地区水源点分散，集中供水率低，供水保障程度有待进一步提高。随着兰州—西宁城市群、关中—天水经济区、呼包鄂榆经济区和太原城市群、中原城市群等重点地区发展，人口和产业将进一步向城市群和大城市集聚，生活和工业用水需求刚性增长，对供水时段、供水水质和供水保证率要求更高，现有的区域供水工程将难以保障未来经济社会快速发展的需求，需要进一步完善区域供水工程，提高区域水资源配置能力。

2.3 黄河干流骨干水库调蓄能力不足

黄河流域径流时空分布不均，汛期 7～10 月径流量占全年的 57.9%，而农业灌溉用水主要集中在非汛期。兰州以下径流量占全河的 33.5%，人口和 GDP 占 92%和 95%，用水占全河的 93%，水资源时空分布与经济社会布局不相匹配，来水与用水在地区和时间上不相适应。现状黄河干流仅有龙羊峡一座多年调节水库，龙羊峡水库以下 2877.5 千米的上中游河段有刘家峡、小浪底两座不完全年调节水库，调节库容为 86 亿立方米，年内和年际蓄丰补枯能力有限。规划的古贤、黑山峡、碛口等大型水库仍未开工建设，大大限制了黄河水资源的时空调配能力，如 2018 年、2019 年黄河来水较丰，但由于水库调蓄能力不足，造成大量水资源

无法有效利用。

3 黄河水网总体思路和格局

3.1 总体思路

在分析资源环境状况、调水工程与水网布局现状基础上，按照节水优先要求，以水资源水生态水环境承载能力为约束，重点围绕需求的动态变化，分析需求的次序和等级，保证合理刚性需求，遏制不合理需求。结合水资源供需分析的结果，提出跨区域流域水资源配置格局。以自然河湖水系为基础，按照“确有需要、可以持续、生态安全”的原则，谋划必要的蓄引提调工程网络，有序发挥水流的自然演变、社会服务、生态服务功能，强化水网布局与其他空间规划相关布局方案的协调与衔接，构建以水定需的黄河水网格局，实现水资源空间均衡配置。

3.2 总体格局

统筹黄河流域水资源特点和经济社会发展要求，结合流域水利工程布局体系，在国家“四横三纵、南北调配、东西互济”的水资源配置战略格局下，逐步构成黄河流域“一干七支、一线七库、节点控制、连通互济”的水网格局。“一干七支”包括黄河流域纳入国家骨干水网的河流包括黄河干流上、中、下游及湟水、洮河、无定河、汾河、渭河、伊洛河、沁河等主要支流，形成了黄河水网的核心基础。“一线七库”包括南水北调西线工程、黄河干流上拟建设的古贤、黑山峡、碛口等三座骨干调蓄工程加上已经建成的龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底等四座骨干调蓄工程，形成黄河水网的一级骨干脉络与核心节点；引汉济渭二期工程、白龙江调水工程等区域配置工程、支流上拟新建马莲河水库、永宁水库等大型水库、已建的李家峡、拉西瓦、万家寨、九甸峡、汾河、陆浑、故县、河口村和在建的东庄等大型水库，形成黄河水网的二级脉络和节点。

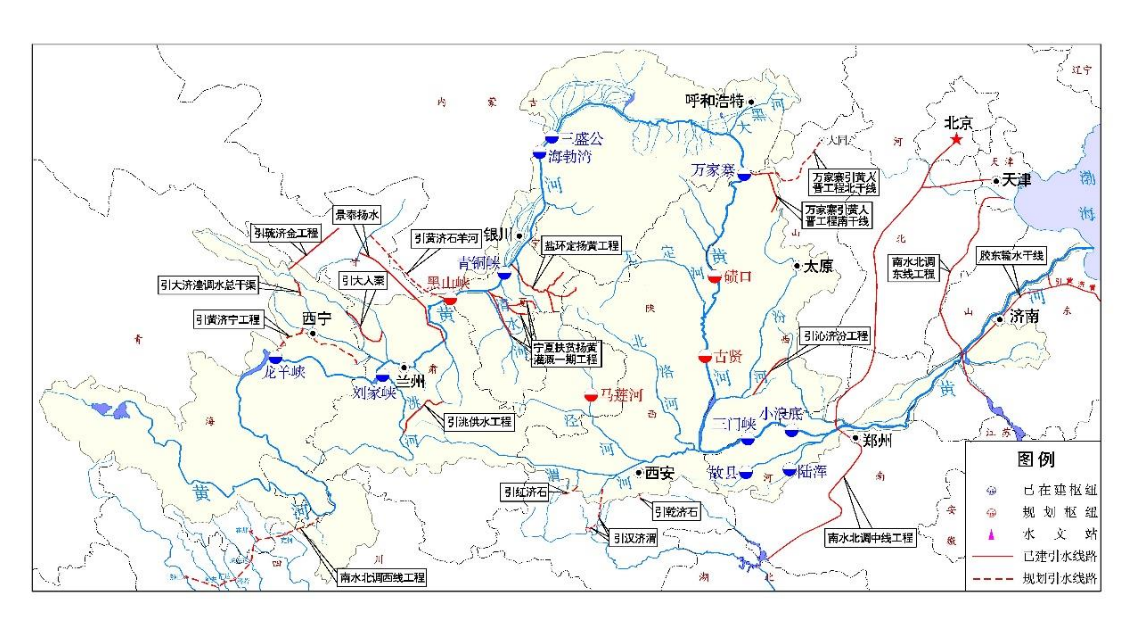


图 1 黄河流域的水网格局

4 具体对策

4.1 构建黄河水网的“纲”

随着流域生态保护和高质量发展战略的推进，未来对水资源刚性需求强烈，水资源保障形势更加严峻，对国家粮食安全、能源工业安全、生态安全和社会稳定埋下重大隐患。据预测，2035 年水平，黄河流域各行业用水水平达到国内领先的情况下，流域节水潜力约为 33 亿立方米，其中农业能转让给工业和生活的用水节水潜力为 16 亿立方米，届时流域国民经济缺水仍高达 133 亿立方米，其中生活和工业刚性缺水 84 亿立方米，仅依靠节水解决不了黄河流域的缺水问题。

南水北调西线工程是国务院批复的《南水北调工程总体规划》的重要组成部分，是国家“四横三纵”水资源配置格局的战略性水利工程。通过统筹存量和增量，加强互联互通，推进南水北调西线工程建设，加快构建国家水网主骨架和大动脉，从根本上扭转黄河流域水资源严重短缺的局面。在完善国家水资源配置总体格局基础上，形成黄河水网的纲。

4.2 完善黄河水网的“目”

区域水资源配置工程是黄河水网的“目”。在黄河流域“一轴两区五极”的发展动力格局下，科学合理布置区域水资源配置工程。“一轴”，是指依托新亚欧大陆桥国际大通道，串联上中下游和新型城市群，以先进制造业为主导，以创新为主要动能的现代化经济廊道，是黄河流域参与全国及国际经济分工的主体。“两区”，是指以黄淮海平原、汾渭平原、河套平原为主要载体的粮食主产区和以山西、鄂尔多斯盆地为主的能源富集区，加快农业、能源现代化发展。“五极”，是指山东半岛城市群、中原城市群、关中平原城市群、黄河“几”字弯都市圈和兰州-西宁城市群等，是区域经济发展增长极和黄河流域人口、生产力布局的主要载体。

围绕“一轴两区五极”高质量发展对水资源的需求，建设一批重点水源工程，加强国家重大水资源配置工程与区域重要水资源配置工程的互联互通，提升重点区域水资源调配保障能力。围绕兰—西城市群及辐射地区，加快实施引黄济宁、白龙江引水调水工程，完善提升引大入秦、引洮二期等工程供水能力。围绕黄河几字弯城市带，加快实施陕甘宁革命老区供水、乌梁素海生态补水等工程。尽快建成榆林抽黄供水、延安抽黄供水、古贤陕西山西供水等工程。支撑河套灌区粮食主产区和几字弯能源富集区发展。围绕西安—咸阳一体化，加快引汉济渭二期等工程建设，形成渭汾平原水系，支撑关中城市群发展。围绕郑汴同城化，结合南水北调中线后续工程，实施陆浑、故县水库向郑州、洛阳城镇供水工程，支撑中原城市群发展。围绕济南核心城市和山东半岛城市群，实施南水北调东线后续工程，完善重点区域水资源调配保障能力。

4.3 补充黄河水网的“结”

黄河径流年内年际变化大，水资源与人口、资源分布不相匹配，工程调控能力不足。现有龙羊峡、刘家峡水利枢纽位于兰州以上，可联合对兰州以上水量进行多年调节，但中下游三门峡、小浪底水利枢纽调节库容有限，对上游和区间来水调节能力不足。因此，在黄河兰州以下干流要尽快建设必要的枢纽工程，增强水量蓄丰补枯调控能力。尽早开工建设古贤水利枢纽工程，同时改建三门峡水库，实施黄河下游引黄涵闸改建，与支流骨干水库联合运用，构建中下游水资源配置工程子体系。积极筹建黑山峡、碛口等水利枢纽，与南水北调西线工程联合调度，增强上中下游水量联合调控能力，构成全河完善的水资源配置工程体系，优化水资源配置和保障供水安全。

5 结语

黄河流域水资源匮乏与水土资源不匹配使得该区域的生态地理处于极度劣势成为了区域长期无法显著发展的瓶颈阻碍。要突破黄河流域“水资源短缺、生态环境脆弱、高质量发展不足”三大制约，推动黄河流域高质量发展，需要与国家水网构建结合，加快实施南水北调西线工程，构建“一干七支、一线七库、节点控制、连通互济”的黄河流域水网格局，在水安全的前提下，保障黄河流域水资源空间均衡优化配置。

参考文献:

[1] 王煜，杨立彬. 南水北调西线工程建设的必要性与紧迫性研究[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2012(2): 150-156.

[2] 王浩，常炳炎，秦大庸. 黑河流域水资源调配研究[J]. 中国水利，2004(09): 16-19.

[3] 王光谦，杨益. 中央犹他工程[J]. 南水北调与水利科技，2006,4(6): 35-38, 58.

[4] 王光谦，欧阳琪，张远东，等. 世界调水工程[M]. 科学出版社，2009: 387.

[5] AKRON A, GHERMANDI A, DAYAN T, et al. Interbasin water transfer for the rehabilitation of a transboundary Mediterranean stream: An economic analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2017,202(1): 276-286.

[6] 梁书民，GREENE RICHARD，朱立志，等. 全球大型跨流域调水工程及水资源农业开发潜力[J]. 水资源与水工程学报，2019(05): 236-246.

[7] 贲克平. 国际上大规模跨流域调水工程实例[J]. 治黄科技信息，2003,000(009): 28-29.

[8] WRIGHT D A. A history of agriculture in the Central Valley[J]. Business Journal Serving Fresno & the Central San Joaquin Valley, 2002.

[9] TROY A. The Very Hungry City: The California State Water Project and Central Arizona Project[M]. Yale University Press, 2012.

[10] COHEN N. ISRAEL'S NATIONAL WATER CARRIER[J]. Present Environment & Sustainable Development, 2008,2(2): 1843-5971.

[11] 王彤彤，徐吉. 国内跨流域调水工程实践的发展趋势与启示: 中国水利学会[C], 2012.

[12] 王锐. 京杭大运河修建历史变化[J]. 炎黄地理，2020,No.566(07): 23-26.

[13] 王浩. 南水北调通水6年 1.2亿多人用上"南水"[J]. 科学大观园，2021,No.609(01): 16-21.

[14] 杨爱民，张璐，甘泓，等. 南水北调东线一期工程受水区生态环境效益评估[J]. 水利学报，2011,39(005): 563-571.

[15] 郭旭宁，何君，张海滨，等. 关于构建国家水网体系的若干考虑[J]. 中国水利，2019(15): 1-4.

[16] 全国政协常委、水利部副部长陆桂华：推进国家水网重大工程建设 提升水安全保障能力[EB/OL]. [2021-7-23].http://www.chinawater.com.cn/ztgz/xwzt/2021lh/3/202103/t20210311_762422.html.

(通讯作者: 张金良 E-mail: jlzhangyrec@126.com)

作者贡献声明:

张金良：提出主题和思路；

张金良：文献梳理；

张金良：论文起草；

张金良：论文最终版本修订。